

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

Řešení příměstské hromadné dopravy ve vybrané oblasti

Solution of Suburban Bus Transport Services in Selected Area

Student: Jitka Urcová

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Ivana Olivková, Ph.D.

Ostrava 2012

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jitka Urcová**  
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **2301T003 Dopravní technika a technologie**  
Specializace: **20 Silniční doprava**  
Téma: **Řešení příměstské autobusové dopravy ve vybrané oblasti**  
**Solution of Suburban Bus Transport Services in Selected Area**

Zásady pro vypracování:

Osnova:

1. Úvod
2. Analýza současného stavu
3. Návrh řešení příměstské autobusové dopravy ve vybrané oblasti
4. Sestavení jízdního řádu
5. Vyhodnocení návrhu
6. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Surovec, P. Provoz a ekonomika silniční dopravy I. Ostrava: VŠB-TU Ostrava. 2000. ISBN 80-7078-735-X
2. Gross, I. Kvantitativní metody v manažerském rozhodování. Praha: GRADA, Praha. 2003. ISBN 80-247-0421-8
3. Černý, J., Kulvánek, P. Základy matematické teorie dopravy. Bratislava: VEDA-Vydavateľstvo slovenskej akadémie vied, Bratislava. ISBN 80-224-0099-8
4. Interní materiály dopravní firmy

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Ivana Olivková, Ph.D.**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012

doc. Ing. Vladimír Smrž, Ph.D.  
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

#### Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byla seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : .....

.....

podpis

Jitka Urcová

Květná 235

788 32 Staré Město

## **ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

URCOVÁ, J. *Řešení příměstské hromadné dopravy ve vybrané oblasti : diplomová práce.* Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2012, 80 s. Vedoucí práce: Olivková Ivana

Diplomová práce je zaměřena na řešení příměstské hromadné dopravy v oblasti Nový Jičín – Kopřivnice – Frenštát pod Radhoštěm. Cílem práce je navrhnout linky tak, aby se snížil počet vozidel potřebných na obsluhu dopravní sítě. Optimalizace sítě linek je řešena pomocí lineárních modelů. Na základě zjištěných údajů je sestaven jízdní řád pro vybrané linky.

## **ANNOTATION OF MASTER THESIS**

URCOVÁ, J. *Solution of Suburban Bus Transport Services in Selected Area : Master Thesis.* Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transport, 2012, 80 s. Thesis head: Olivková Ivana

This thesis is focused on solving suburban public transport in Nový Jičín - Kopřivnice – Frenštát pod Radhoštěm. The goal is to design a line, in order to reduce the number of vehicles needed to operate the transport network. Optimisation of route network is solved using linear models. Based on the data compiled timetable for the link .

# Obsah

<b>0. Úvod .....</b>	<b>8</b>
<b>1. Analýza současného stavu .....</b>	<b>9</b>
1.1 Popis stávajících linek .....	9
1.2 Intenzity cestujících .....	13
<b>2. Teoretický úvod k modelu.....</b>	<b>16</b>
2.1 Definování problému .....	17
2.2 Matematický model .....	17
<b>3. Návrh řešení příměstské hromadné dopravy .....</b>	<b>20</b>
3.1 Numerický experiment .....	21
3.2 Aplikace modelu .....	24
3.2.1 Model č.1 – Minimalizace počtu vozidel.....	24
3.2.2 Model č.2 – Maximalizace pohodlí .....	26
3.3 Návrh nových linek.....	28
3.3.1 Model č.3 – Minimalizace počtu vozidel.....	30
3.3.2 Model č.2 – Maximalizace pohodlí .....	33
<b>4. Sestavení jízdního řádu .....</b>	<b>38</b>
4.1 Způsob zpracování jízdního řádu a jeho změn .....	38
4.2 Linkový interval dopravy.....	41
<b>5. Vyhodnocení návrhu.....</b>	<b>45</b>
5.1 Ekonomické zhodnocení.....	46
<b>6. Závěr .....</b>	<b>50</b>
<b>CITACE.....</b>	<b>52</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>53</b>

## Seznam použitých zkratek a symbolů

$a_{lh}$	- linkově – hranová incidenční matice
$H$	- množina hran
$k$	- kapacita 1 vozidla [místo]
$L_0$	- množina linek
$N_l$	- počet oběhů 1 vozidla za hodinu na lince [oběhy]
$o_l$	- oběžná doba
$t_{k1}$	- doba zdržení na výchozí zastávce [min]
$t_{k2}$	- doba zdržení na konečné zastávce [min]
$t_l$	- doba linky [min]
$q_h$	- rozhodující intenzita cestujících pro hranu [cestující.h <sup>-1</sup> ]
$V$	- množina vrcholů
$x_l$	- počet vozidel přidělených lince $l \in L_0$ [vozidlo].
$y$	- proměnná představující minimální poměrnou rezervu mezi nabízeným a průměrně požadovaným počtem míst.

## 0. Úvod

V dnešní době jsou stále více osídlovány příměstské části větších či středně velkých měst. Jedním z důvodů je klidné, bezpečné a relativně čisté prostředí. Ovšem lidé z těchto lokalit přijíždějí každý den do zaměstnání, škol, zdravotních středisek, ale také za zábavou, kulturou a sportem.

Rozvoj dopravy vede nejen k větší mobilitě lidstva, ale také i k jejich stěhování na okraj měst, případně do vesnic, které jsou od měst vzdáleny jen pár kilometrů. Vlastní automobil je pro mnohé nejlepší variantou jak se rychle a pohodlně přiblížit městu. Ovšem nikdo si již neuvědomuje jak velká je to zátěž pro města. Nelze se na to dívat jen z pohledu pohodlné přepravy z domu do práce. Důsledky jednání každého z nás jsou přeplněné ulice stojícími automobily, budování nových a nových odstavných parkovišť v centrech měst, dále klesající bezpečnost chodců, ale především zátěž pro životní prostředí.

Pakliže se má snížit počet automobilů ve městech, je třeba zdokonalit koordinovanost mezi dopravou z příměstských zón a vnitroměstskou dopravou. Kvalita hromadné osobní dopravy v příměstské zóně není však na žádoucí úrovni. Příčinnou je značná roztříštěnost zdrojů a cílů cest.

V případě, že příměstská hromadná doprava má být hlavním nositelem přemísťování osob je nutné, aby v co největší míře plnila požadavky, kterými jsou z pohledu cestujících rychlost, spolehlivost, přemístění, přepravní kapacita, pohotovost a v neposlední řadě bezpečnost. Základní funkcí hromadné dopravy je přepravit maximálně možné množství osob na požadované kvalitativní úrovni a s vynaložením minimálního množství práce s použitím silničních dopravních prostředků.[1] Další funkcí je zabezpečení kvalitní dopravní obslužnosti území.

Tato diplomová práce si klade za cíl navrhnout linky příměstské hromadné dopravy, které by posílily současnou dopravu mezi městy Nový Jičín – Kopřivnice – Frenštát pod Radhoštěm. Jsou zde analyzovány stávající linky, ze kterých plyne řešení nových linek. Tvorba nových linek, se kterými souvisí i výpočet oběhů vozidla a vytvoření jízdního řádu je uveden blíže v této práci.



# 1. Analýza současného stavu

Stávající dopravní síť tvoří 10 linek, jež obsluhují 81 zastávek mezi městy Nový Jičín, Kopřivnice a Frenštát pod Radhoštěm. Obecně lze rozdělit vedení linek do dvou základních skupin, jimiž jsou:

- linky kmenové (páteřní) – jde o základní síť pro pokrytí rozhodujících přepravních potřeb mezi městy
- linky doplňující (doplňkové) – vytváří servis a zajišťují pokrytí ve vztahu k linkám kmenovým – především jde o základní obsluhu okrajových oblastí a doplnění páteřní sítě linek

Páteřní linkou na trase Nový Jičín – Kopřivnice je linka č.7. Doplňkovou linkou je linka č.3 a linka č.2, které jsou lidmi méně využívány. Páteřní linkou z Kopřivnice do Frenštátu pod Radhoštěm je linka č.6, ovšem doplňková linka č.9 je vyhledávána větším množstvím cestujících, proto je možné i tuto linku považovat za páteřní. K přímému spojení Nového Jičína s Frenštátem pod Radhoštěm slouží linka č.1.

## 1.1 Popis stávajících linek

### **Linka č.1 (880 606)**

Nový Jičín – Veřovice – Frenštát pod Radhoštěm

Linka č.1 vede po silnici třetí třídy značené jako III/4832. Oběžná doba je 105 min. Do této doby se započítává i zdržení na konečných zastávkách. V případě linky č.1 se jedná o 10 minutové zdržení na výchozí zastávce a 5 minutové zdržení na konečné zastávce. Interval není jednoznačně daný. Spoje jsou hlavně v ranních hodinách přizpůsobeny cestujícím směřujícím do zaměstnání a škol.

### **Linka č.2 (880 607)**

Nový Jičín – Ženklava – Kopřivnice

Tato linka doplňuje linku č.7. Vede po silnici druhé třídy vedené pod označením II/480. Linka má oběžnou dobu 90 min. V této době je také započítána pauza na konečných zastávkách. Ovšem v případě této linky se jedná o 10 minutové zdržení jak

na výchozí zastávce, tak i na konečné zastávce. Interval linky není pevně stanovený, ale linka je provozována jak v přepravní špičku, tak i v přepravním sedle.

### **Linka č.3 (880 608)**

Nový Jičín – Rybí – Štramberk – Kopřivnice

Linka č.3 je obdobně jako předchozí linka doplňkovou linkou k lince č.7. Oběžná doba této linky je 80 min. U této linky je přestávka pro řidiče na výchozí i konečné zastávce po dobu 5 minut. Interval linky je 25 min v přepravní špičku a přibližně 1 hodinu v přepravním sedle.

### **Linka č.4 (880 633)**

Kopřivnice – Veřovice – Frenštát pod Radhoštěm

Linka č.4 je linka s oběžnou dobou 90 min. Stejně jako již zmíněná linka č.2, má i tato linka zdržení na výchozí i konečné zastávce zdržení po dobu 10 minut. Linka je ve směru z Nového Jičína do Frenštátu pod Radhoštěm provozována především v ranní přepravní špičku. Během dne jsou poté vypraveny pouze dva spoje. V opačném směru jsou nabídnuty pouze tři spoje za celý den.

### **Linka č.5 (880 634)**

Kopřivnice – Lichnov – Frenštát pod Radhoštěm

Oběžná doba této linky je 90 min. Přestávka řidiče na konečné zastávce spoje, ale také na výchozí zastávce je rovněž 10 minut. Spoje jsou rozloženy rovnoměrně po celý den. Interval ve špičce je 65 min.

### **Linka č.6 (880 635)**

Kopřivnice – Frenštát pod Radhoštěm – Rožnov pod Radhoštěm

Pro účely diplomové práce je tato linka zkrácená. Linka končí v zastávce Frenštát pod Radhoštěm železniční stanice. Oběžná doba linky po úpravě je 80 min. Doba linky je jedna hodina. Tudíž z toho plyne, že zdržení na konečných zastávkách je v obou směrech 10 minut. Tato linka je provozována pouze v přepravní špičce.

**Linka č.7 (880 646)**

Kopřivnice – Štramberk – Rybí – Nový Jičín

Oběžná doba této linky je 90 min. Jelikož tato linka je hlavní tepnou ve spojení Nového Jičína s Kopřivnicí je tomu přizpůsoben i přepravní interval, který činí 40 minut. Obdobně jako u linky č.6 je zdržení na konečných zastávkách rovněž 10 minut.

**Linka č.8 (880 652)**

Frenštát pod Radhoštěm – Tichá - Kozlovice

Tato linka je stejně jako linka č.6 zkrácená. Důvodem tohoto zkrácení je, že z Tiché do Frenštátu pod Radhoštěm jezdí mnoho lidí za prací a tento fakt by mohl ovlivnit i řešení v této diplomové práci. Oběžná doba zkrácené linky je 30 min. Zdržení na výchozí i konečné zastávce je přizpůsobeno délce linky a činí 5 min. Kilometrický proběh zmiňované linky jsou 4 km.

**Linka č.9 (880 653)**

Frenštát pod Radhoštěm – Tichá – Kopřivnice

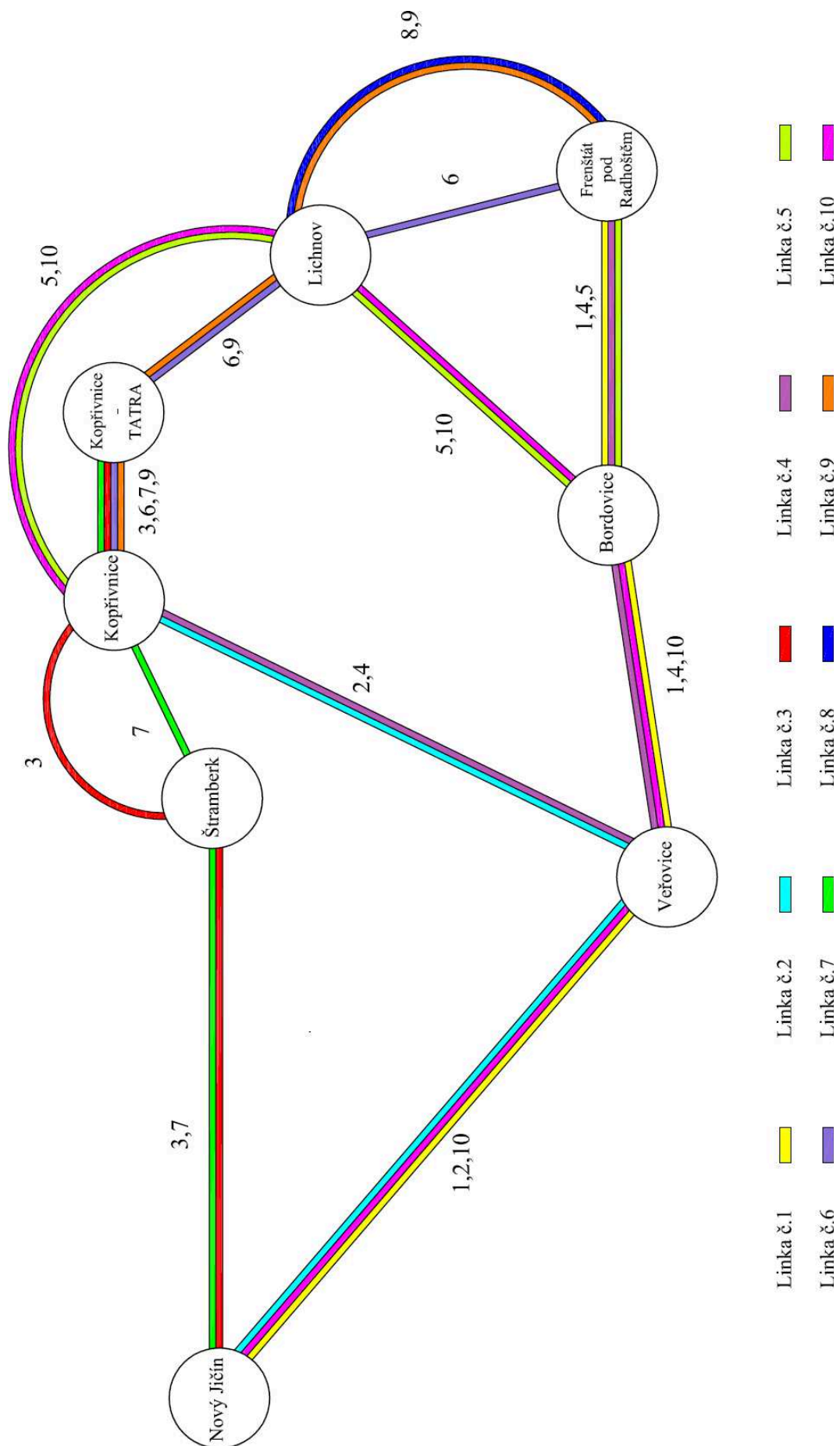
Tato linka taktéž obsluhuje i průmyslovou zónu a proto jsou spoje v ranních hodinách přizpůsobeny potřebám cestujících jedoucích do zaměstnání. Poté je linka provozována především v přepravním sedle. Oběžná doba této linky je 90 min. Zdržení na výchozí i konečné zastávce je jako u mnohých linek rovna 10 min.

**Linka č.10 (880 663)**

Kopřivnice – Lichnov – Veřovice – Nový Jičín

Oběžná doba linky je 120 min. Tato doba v sobě obsahuje i 5-ti minutové zdržení jak na výchozí zastávce, tak i na konečné zastávce. Na linku jsou nasazeny pouze 2 spoje v jednotlivých směrech, které linku obsluhují pouze v ranní přepravní špičku. Tato linka je méně využívána a to především z toho důvodu, že k propojení Kopřivnice s Novým Jičínem jsou linky s mnohem kratší oběžnou dobou a tedy i kratším časem stráveným v dopravním prostředku.

Na Obr.1 jsou jednotlivé linky graficky znázorněny. Mapa vybrané oblasti je přiložena v příloze.



Obr.1 Trasy stávajících linek

## **1.2 Intenzity cestujících**

Základními vstupními údaji jsou intenzity přepravovaných cestujících na jednotlivých úsecích dopravní sítě. Intenzity jsou rozděleny do 4 kategorií. První je ranní přepravní špička, která trvá od prvního spoje do 8:30 hod. První spoje jsou většinou navrženy tak, aby se cestující dostali včas do zaměstnání a to především ti, kteří pracují již od brzkých ranních hodin. Další nutnou podmínkou je přepravit děti, studenty a pedagogy včas do školy. Druhou kategorií je přepravní sedlo, které je bráno od 8:30 hod. do 13:30 hod. Následující kategorií je odpolední přepravní špička začínající ve 13:30 hod a trvající do 18:00 hod. V tomto časovém období je třeba mít spoje navrženy tak, aby se studenti a pracující lidé vrátili domů opět s co nejmenší časovou ztrátou. Od 18:00 hod je přepravní sedlo, jež končí posledním spojením, který je většinou navrhován tak, aby přepravil zaměstnance končící odpolední směnu domů.

Hodnoty přepravních intenzit byly podle linek rozděleny do jednotlivých kategorií a samozřejmě byly přiděleny jednotlivým hranám. Tento krok by velmi důležitý pro další pokračování diplomové práce.

Z hodnot denních intenzit ve vybrané oblasti byla sestavena Tab.1 a Tab.2 hodinových intenzit přepravních proudů na jednotlivých úsecích sítě odděleně pro přepravní špičku a přepravní sedlo.

Tab.1 Intenzity cestujících přepravních proudů na jednotlivých úsecích sítě v přepravní špičce

Úsek		Intenzity cestujících ve špičce – směr 1			Úsek		Intenzity cestujících ve špičce – směr 2		
		do 8:30	13:30 - 18:00	<b>tam max.</b>			do 8:30	13:30 - 18:00	<b>zpět max.</b>
1	Nový Jičín - Veřovice	219	406	<b>406</b>	1	Nový Jičín - Veřovice	317	290	<b>317</b>
2	Veřovice – Kopřivnice	104	51	<b>104</b>	2	Veřovice – Kopřivnice	77	59	<b>77</b>
3	Veřovice – Bordovice	47	8	<b>47</b>	3	Veřovice – Bordovice	32	38	<b>38</b>
4	Bordovice - Frenštát	27	1	<b>27</b>	4	Bordovice - Frenštát	2	147	<b>147</b>
5	Bordovice - Lichnov	21	35	<b>35</b>	5	Bordovice - Lichnov	70	15	<b>70</b>
6	Frenštát - Lichnov	34	4	<b>34</b>	6	Frenštát - Lichnov	13	31	<b>31</b>
7	Frenštát - Tichá – Lichnov	37	110	<b>110</b>	7	Frenštát - Tichá – Lichnov	197	33	<b>197</b>
8	Lichnov - Kopřivnice, Tatra	23	21	<b>23</b>	8	Lichnov - Kopřivnice, Tatra	58	29	<b>58</b>
9	Kopřivnice, Tatra – Kopřivnice	106	205	<b>205</b>	9	Kopřivnice, Tatra – Kopřivnice	177	210	<b>210</b>
10	Lichnov - Kopřivnice	60	0	<b>60</b>	10	Lichnov - Kopřivnice	12	0	<b>12</b>
11	Nový Jičín – Štrambersk	246	468	<b>468</b>	11	Nový Jičín – Štrambersk	600	249	<b>600</b>
12	Štrambersk – Kopřivnice	53	147	<b>147</b>	12	Štrambersk – Kopřivnice	146	28	<b>146</b>
13	Štrambersk - Závišice – Kopřivnice	103	22	<b>103</b>	13	Štrambersk - Závišice – Kopřivnice	20	76	<b>76</b>

Tab.2 Intenzity cestujících přepravních proudů na jednotlivých úsecích sítě v přepravním sedle

Úsek		Intenzity cestujících v sedle – směr 1			Úsek		Intenzity cestujících v sedle – směr 2		
		8:30 – 13:30	od 18:00	<b>tam max.</b>			8:30 – 13:30	od 18:00	<b>zpět max.</b>
1	Nový Jičín - Veřovice	272	101	<b>272</b>	1	Nový Jičín – Vepřovice	152	60	<b>152</b>
2	Veřovice – Kopřivnice	50	6	<b>50</b>	2	Veřovice – Kopřivnice	53	0	<b>53</b>
3	Veřovice – Bordovice	12	11	<b>12</b>	3	Veřovice – Bordovice	18	17	<b>18</b>
4	Bordovice - Frenštát	2	0	<b>2</b>	4	Bordovice - Frenštát	6	4	<b>6</b>
5	Bordovice - Lichnov	22	12	<b>22</b>	5	Bordovice - Lichnov	38	8	<b>38</b>
6	Frenštát - Lichnov	0	0	<b>0</b>	6	Frenštát - Lichnov	1	0	<b>1</b>
7	Frenštát - Tichá – Lichnov	59	28	<b>59</b>	7	Frenštát - Tichá – Lichnov	51	16	<b>51</b>
8	Lichnov - Kopřivnice, Tatra	45	9	<b>45</b>	8	Lichnov - Kopřivnice, Tatra	17	4	<b>17</b>
9	Kopřivnice, Tatra – Kopřivnice	41	12	<b>41</b>	9	Kopřivnice, Tatra – Kopřivnice	72	35	<b>72</b>
10	Lichnov - Kopřivnice	0	0	<b>0</b>	10	Lichnov - Kopřivnice	0	0	<b>0</b>
11	Nový Jičín – Štramberk	209	88	<b>209</b>	11	Nový Jičín – Štramberk	196	93	<b>196</b>
12	Štramberk – Kopřivnice	32	5	<b>32</b>	12	Štramberk – Kopřivnice	25	0	<b>25</b>
13	Štramberk - Závišice – Kopřivnice	49	21	<b>49</b>	13	Štramberk - Závišice – Kopřivnice	36	43	<b>43</b>

## 2. Teoretický úvod k modelu

V praxi se často při navrhování linek příměstské hromadné dopravy vychází ze zkušeností. Ovšem je možné využít i jiné prostředky, kterými mohou být například lineární matematické modely. V takovém případě je možné při sestavování účelové funkce lineárního matematického modelu příměstské hromadné dopravy optimalizovat různá kritéria, jež mohou být např. maximalizace minimální poměrné rezervy mezi nabídnutým a průměrně požadovaným počtem míst na úsecích dopravní sítě, dále minimalizovat počty vozidel nasazených na jednotlivé linky, minimalizovat dopady dopravy na životní prostředí a samozřejmě i minimalizovat náklady na obsluhu spojů linek. Tato práce se zabývá především návrhem nových linek příměstské hromadné dopravy na Novojičínsku, kde se pomocí lineárního programování stanoví minimální počty vozidel, které budou obsluhovat jednotlivé linky. Dále se bude věnovat maximalizaci poměrné rezervy mezi nabídnutým a průměrně požadovaným počtem míst tzv. pohodlím.

V lineárním programování se pracuje se dvěma odlišnými skupinami hodnot. První takovou skupinou jsou hodnoty, které jsou zadány a v průběhu výpočtu se nemění. Nazývají se konstanty. Druhou skupinou jsou hodnoty, které se během výpočtu mění – proměnné.

Počet proměnných, které jsou do úlohy zaváděny, odpovídají počtu rozhodnutí, které je třeba v úloze vykonat. Občas se stane, že je potřeba do modelu zavést i další pomocné proměnné, které například simulují vazby mezi jednotlivými proměnnými, jež modelují reálná rozhodnutí. Pro každou proměnnou je zapotřebí před zahájením výpočtu určit definiční obor. V lineárním programování se vyskytují tři možné typy definičních oborů. Jsou jimi:

- množina nezáporných čísel
- množina celých nezáporných čísel
- bivalentní proměnná – nabývá hodnot 0 a 1

Každý lineární model se skládá ze dvou základních částí, jimiž je soustava omezujících podmínek a účelová funkce. Soustava omezujících podmínek vymezuje množinu přípustných řešení. Omezující podmínky jsou dvojího druhu a to strukturální a obligatorní podmínky. Strukturálními podmínkami se rozumí reálné omezení, resp. se jimi mohou vytvářet vazby mezi proměnnými. Obligatorní podmínky ohraničují definiční obory proměnných, které se v úloze nacházejí. Účelovou funkcí se rozumí funkční vztah, podle kterého se vypočítá hodnota optimalizované veličiny.



## **2.1 Definování problému**

Dopravní síť ohraničená městy Nový Jičín – Kopřivnice – Frenštát pod Radhoštěm je reprezentována grafem  $G [V, H]$ , kde  $V$  je množina vrcholů, která reprezentuje významné uzly sítě. Uzlem sítě se rozumí místo, kde se síť větví nebo v tomto místě dochází k obrátům vozidla. Množina hran  $H$  reprezentuje dopravní úseky na níž je definována širší množina linek  $L_0$ . Řešené linky jsou linky kyvadlové a proto u každé této linky  $l \in L_0$  je známa oběžná doba  $o_l$ . Na každé hraně  $h \in H$  dopravní sítě je známa intenzita cestujících  $q_h$ , která představuje ohodnocení hrany. Intenzita je porovnávána v obou směrech a vždy je vybírán zatíženější směr. Je to z toho důvodu, aby požadavky všech cestujících na hraně byly uspokojeny.

V dopravní síti obíhá pouze jeden druh dopravních prostředků, kterými jsou autobusy. Z tohoto hlediska se úloha velice usnadní. Dále musí být známa kapacita vozidel označená jako  $k$ .

## **2.2 Matematický model**

Vstupní údaje pro tento model:

Ohodnocená dopravní síť, v níž je naznačena množina všech vrcholů  $V$  dané sítě, které jsou důležité pro řešení problému linkotvorby. Dále je to množina všech hran  $H$  a v neposlední řadě intenzita cestujících  $q_h$  na hraně  $h$  v zatíženějším směru.

Pro podmínky příměstské hromadné dopravy Nový Jičín – Kopřivnice – Frenštát pod Radhoštěm je využíván jeden druh vozidla. Z tohoto důvodu není zapotřebí nechávat indexy v označení kapacity vozidel, které jsou uváděny pro mnohem náročnější modelování sítě linek. Pro tento jednoduchý případ je možné využít označení kapacity vozidel  $k$ . Také je zapotřebí znát oběhy vozidla za hodinu.

Matematický model, který minimalizuje počet vozidel potřebných k obsluze dopravní sítě.

$$\min f(x) = \sum_{l \in L_0} x_l \quad (1)$$

za podmínek

$$\sum_{l \in L_0} a_{lh} \cdot N_l \cdot k \cdot x_l \geq q_h \quad \text{pro } h \in H \quad (2)$$

$$x_l \in Z_0^+ \quad \text{pro } l \in L_0 \quad (3)$$

kde konstantami jsou:

- $a_{lh}$  ... linkově – hranová incidenční matice. V této matici se vyskytují hodnoty 0 a 1. V případě, že nastane stav, kdy je  $a_{lh} = 0$ , potom linka  $l \in L_0$  neobsluhuje hranu  $h \in H$ . Pakliže nastane stav opačný, tedy že  $a_{lh} = 1$ , linka  $l \in L_0$  obsluhuje hranu  $h \in H$ .
- $q_h$  ... rozhodující intenzita cestujících pro hranu  $h \in H$  [cestujících.h<sup>-1</sup>]
- $k$  ... kapacita 1 vozidla [místo]
- $N_l$  ... počet oběhů 1 vozidla za hodinu na lince  $l \in L_0$  [hod]. Počet oběhů vyplývá z následujícího vzorce (1), kde  $o_l$  je oběžná doba linky  $l \in L_0$  a je uváděná v minutách

$$N_l = \frac{60}{o_l} \quad [\text{hod}] \quad (4)$$

Proměnné vyskytující se v modelu:

- $x_l$  ... počet vozidel přidělených lince  $l \in L_0$  [vozidlo].

Výraz (1) reprezentuje účelovou funkci, která minimalizuje počet vozidel nasazených v obsluze. Podmínka (2) zajišťuje, aby se na každém úseku sítě objevilo minimálně tolik míst, kolik se na úseku průměrně požaduje v průběhu sledovaného období. Výraz na levé straně představuje nabídku a hodnota na pravé straně vyjadřuje poptávku

na dané hraně. Při řešení bude algoritmus nasazovat vozidla pouze těm linkám, kterým  $a_{lh} = 1$ . Členy, u kterých  $a_{lh} = 0$  nepřispějí ke splnění podmínky, tudíž z pohledu účelové funkce není zcela rozumné přiřazovat odpovídajícím proměnným  $x_l$  kladnou hodnotu.

Matematický model maximalizující minimální poměrnou rezervu mezi nabízeným a průměrně požadovaným počtem míst na hraně – pohodlí.

$$\max f(y) = y \quad (5)$$

za podmínek

$$\sum_{l \in L_0} a_{lh} \cdot N_l \cdot k \cdot x_l \geq q_h \cdot y \quad \text{pro } h \in H \quad (6)$$

$$\sum_{l \in L_0} x_l \leq k \quad (7)$$

$$x_l \in Z_0^+ \quad \text{pro } l \in L_0 \quad (8)$$

$$y \geq 0 \quad (9)$$

kde konstanty jsou:

- $a_{lh}$  ... linkově – hranová incidenční matice. V této matici se vyskytují hodnoty 0 a 1. V případě, že nastane stav, kdy je  $a_{lh} = 0$ , potom linka  $l \in L_0$  neobsluhuje hranu  $h \in H$ . Pakliže nastane stav opačný, tedy že  $a_{lh} = 1$ , linka  $l \in L_0$  obsluhuje hranu  $h \in H$ .
- $q_h$  ... rozhodující intenzita cestujících pro hranu  $h \in H$  [cestujících.h<sup>-1</sup>]
- $k$  ... kapacita 1 vozidla [místo]
- $N_l$  ... počet oběhů 1 vozidla za hodinu na lince  $l \in L_0$  [hod].

Proměnné vyskytující se v modelu:

$x_l$  ... počet vozidel přidělených lince  $l \in L_0$  [vozidlo].

$y$  ... proměnná představující minimální poměrnou rezervu mezi nabízeným a průměrně požadovaným počtem míst.

Výraz (5) opět znázorňuje účelovou funkci, která maximalizuje hodnotu pohodlí. Hranovaná podmínka (6) zajišťuje, že na každé hraně je nabízen minimálně takový počet míst, který odpovídá požadavku při zohlednění minimální poměrné rezervy. Podmínkou (7) se vyjadřuje, že se mezi linky nerozdělí více vozidel než je k dispozici. Podmínky (8) a (9) jsou podmínkami obligatorními.

### 3. Návrh řešení příměstské hromadné dopravy

Jak bylo již v úvodu zmíněno, cílem této diplomové práce je navrhnout řešení příměstské hromadné dopravy na trase Nový Jičín – Kopřivnice – Frenštát pod Radhoštěm. Jelikož stávající stav plně pokrývá celou dopravní síť, bylo třeba vymyslet linky tak, aby splnily požadavky cestujících a přitom snížily náklady na provozování a také snížily počty nasazených vozidel.

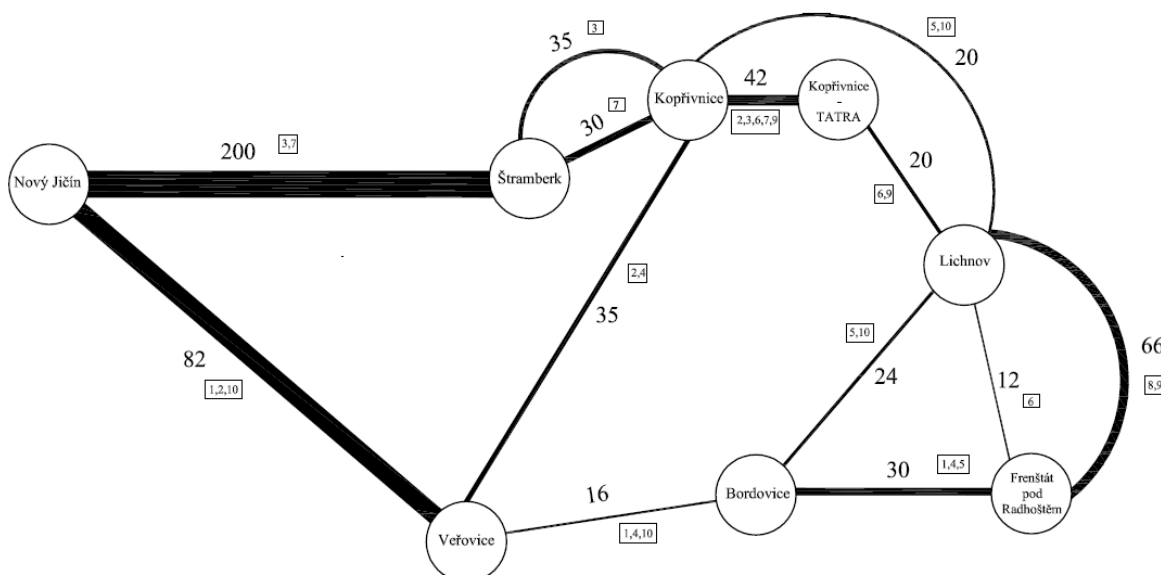
Tato kapitola se zabývá také otestováním stávající nabídky linek. Důvodem tohoto kroku je fakt, že není zcela zřejmé kolik vozidel je na obsluhu dopravní sítě nasazeno v současnosti. Plyne to z toho, že vozidla obsluhují i jiné linky. Nejsou tedy nasazovány pouze na obsluhu vybrané lokality. Po zjištění počtu vozidel je třeba zjistit minimální poměrnou rezervu, která nesmí klesnout pod hodnotu nula.

Pokud je znám počet vozidel na stávající síti, je možné přikročit k samotnému návrhu nové sítě linek. Samozřejmě počet vozidel u nově navrhované sítě linek nesmí překročit stávající počet. Bylo by naprosto nesmyslné, kdyby na základě nového řešení došlo k navýšení byť pouze o jedno vozidlo. Následně je nutné znát hodnotu poměrné rezervy, která stejně jako v původním modelu nesmí klesnout pod hodnotu nula. Pakliže by se tak stalo, znamenalo by to, že alespoň jedna hrana není obsluhována.

### 3.1 Numerický experiment

#### Formulace problému

Je dána síť linek viz Obr.2. V síti se nachází 13 úseků, širší množinu linek tvoří 10 linek. Ohodnocení hrany  $h \in H$  značí intenzitu cestujících za hodinu  $q_h$  v zatíženějším směru. Intenzity uvedeny v Tab.1 a Tab.2. jsou intenzity za časové období, jež trvá přepravní špička a přepravní sedlo. Pro řešení v optimalizačním softwaru je třeba znát hodinové intenzity. Ty se získají podělením intenzit, uvedených v Tab.1 a Tab.2, celkovým trváním přepravní špičky. Upravené intenzity cestujících k výpočetním úkonům jsou uvedeny v Tab.3. U každé hrany je uvedena linka, resp. linky, které danou hranu obsluhují.



Obr.2 Znáznornění sítě linek pro dopravní špičku

Grafické znázornění sítě linek pro přepravní sedlo je uvedeno v Příloze A.

Tab.3 Hodinové intenzity cestujících

Úsek		Hodinové intenzity	
		Přepravní špička	Přepravní sedlo
1	Nový Jičín - Veřovice	82	55
2	Veřovice – Kopřivnice	35	11
3	Veřovice – Bordovice	16	4
4	Bordovice - Frenštát	30	2
5	Bordovice - Lichnov	24	8
6	Frenštát - Lichnov	12	1
7	Frenštát - Tichá – Lichnov	66	12
8	Lichnov - Kopřivnice, Tatra	20	9
9	Kopřivnice, Tatra – Kopřivnice	42	15
10	Lichnov - Kopřivnice	20	0
11	Nový Jičín – Štramberk	200	42
12	Štramberk – Kopřivnice	30	7
13	Štramberk - Závěšice – Kopřivnice	35	10

Pro stanovení počtu oběhů jednoho vozidla za hodinu je třeba stanovit oběžnou dobu. Oběžná doba  $o_l$  definována jako časový úsek mezi dvěma po sobě jdoucími odjezdy stejného vozidla ze stejného profilu tratě ve stejném směru při cyklickém oběhu vozidla na lince. [1] Lze tedy vycházet ze vzorce:

$$o_l = 2 \cdot t_l + t_{k1} + t_{k2} \quad (10)$$

kde

$o_l$  ... oběžná doba linky [min]

$t_l$  ... doba linky [min]

$t_{k1}$  ... doba zdržení na výchozí zastávce [min]

$t_{k2}$  ... doba zdržení na konečné zastávce [min]

Výpočet oběžných dob a určení počtu obrátů je uvedeno v Příloze B. Přehled vypočtených hodnot je uveden v Tab.4.

Tab.4 Přehled vypočtených hodnot

	Oběžná doba [min]	Počet obrátů [hod]
Linka 1	105	0,57
Linka 2	90	0,66
Linka 3	80	0,75
Linka 4	100	0,60
Linka 5	100	0,60
Linka 6	80	0,75
Linka 7	90	0,66
Linka 8	30	2
Linka 9	90	0,66
Linka 10	120	0,50

Kapacita vozidla je volena pro přepravní špičku 60 míst a pro přepravní sedlo 45 míst. Vychází to z užitečné hmotnosti s použitím průměrné hmotnosti jednoho cestujícího. V příměstské hromadné dopravě se vychází z hmotnosti 80 kg. Zohledňuje se zde struktura cestujících (dospělí, mládež, děti) a hmotnosti zavazadel, které má cestující na konkrétní přepravě sebou. Maximální obsaditelnost vychází z těchto údajů:

- 0,125 m<sup>2</sup> užitečné plochy na jedno místo určené k stání, to je 8 osob na 1 m<sup>2</sup>
- 0,315 m<sup>2</sup> užitečné plochy na jedno místo k sedění

Poměr počtu míst k sedění k počtu míst ke stání je ovlivněný v konstrukci vozidla podle účelu jeho použití. V příměstské hromadné dopravě je tento poměr větší než 1:2.

### 3.2 Aplikace modelu

Do modelu se vloží vstupní hodnoty a provede se výpočet. Výpočet se provádí v optimalizačním softwaru Xpress-IVE, který je produktem společnosti Dash Optimization sídlící v USA. Demoverze je pro akademické účely u této společnosti volně dostupná, jen je nutná bezplatná registrace. Všechny uvedené modely v této části diplomové práce jsou pro přepravní špičku. Modely přepravních sedel jsou uvedeny v přílohách.

Aplikace modelu, který testuje stávající stav, je provedena v následujících částech:

### Model č.1 – Počet vozidel

## Model č.2 – Maximalizace pohodlí

### 3.2.1 Model č.1 – Minimalizace počtu vozidel

model Puvodni stav SPICKA

```
uses "mmxprs";
```

declarations

linka=1..10

---

hrana=1..13

a:array(linka,hrana)of real

q:array(hrana)of real

k:real

N:array(linka)of real

x:array (linka)of mpvar

end-declarations

$$k:=60$$

```
a:[1,0,1,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,
    1,1,0,0,0,0,0,0,1,0,0,0,0,0,
    0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,1,0,1,1,
    0,1,1,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,
    0,0,0,1,1,0,0,0,0,1,0,0,0,0,
    0,0,0,0,0,1,0,1,1,0,0,0,0,0,
    0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,1,1,0,0,
    0,0,0,0,0,0,1,0,0,0,0,0,0,0,
```



```

0,0,0,0,0,0,1,1,1,0,0,0,0,
1,0,1,0,1,0,0,0,0,1,0,0,0]
q::[82,35,16,30,24,12,66,20,42,20,200,30,35]
N::[0.57,0.66,0.75,0.6,0.6,0.75,0.66,2,0.66,0.5]

forall(l in linka)x(l) is_integer                                     (11)
forall(h in hrana)sum(l in linka)a(l,h)*N(l)*k*x(l)>=q(h)

pocet_vozidel:=sum(l in linka)x(l)
minimize (pocet_vozidel)

writeln ("Počet vozidel: ",getobjval)
writeln("Počet vozidel na lince:")
forall(l in linka)writeln("linka(",l,")=",getsol(x(l)))              (12)

end-model

```

Optimalizační software pracuje na základě zápisu, který je uvedený výše. Pro vypsání účelové funkce slouží „getobjval“. Aby byly srozumitelně vypsány i zbylé výsledky, je třeba zadat vzorec 12, jež vypíše všechny výsledky. Aby výsledky byly celočíselné, je třeba v modelu uvést podmínku určenou vzorcem 11, která zajistí, že vypsaná hodnota bude celé číslo.

Řešením modelu v optimalizačním programu se dospělo k těmto výsledkům:

Počet vozidel: 10

Počet vozidel na lince:

```

linka(1)=1
linka(2)=1
linka(3)=4
linka(6)=1
linka(7)=1
linka(8)=1
linka(10)=1

```

Z modelu jasně vyplývá, že linka č.4, linka č.5 a linka č.9 není obsluhována žádným z vozidel. Jelikož toto tvrzení je naprosto špatné, nebude brán zřetel na obsazování linek vozidly, ale bude se vycházet pouze z počtu vozidel. Jak již bylo řečeno dříve, není zcela jasné, kolik vozidel obsluhuje právě tuto oblast. Proto byl sestaven tento model, který přibližný počet zjistí. Zda to tak je nebo není nelze s určitostí tvrdit, ale pro účely této práce bude plně stačit hodnota získaná z modelu.

Dosažení hodnoty minimální poměrné rezervy mezi nabízeným a průměrně požadovaným počtem míst je možné zjistit za použití následujícího modelu. Použité veličiny jsou stejné jako v předešlém modelu. Pouze přibyla konstanta  $K$ , jež popisuje kolik vozidel je použito na jednotlivých linkách. Na místo hodnoty  $K$  jsou vloženy výsledky z modelu reprezentujícího počet vozidel. I když bylo vysvětleno, že se s těmito hodnotami počítat nebude, jelikož nejsou zcela zřejmé, je nutné je dosadit do modelu č.2. Důvodem je, že tyto veličiny jsou důležitou hodnotou pro získání hodnoty pohodlí. V dalším návrhu se již vyskytovat nebudou.

### **3.2.2 Model č.2 – Maximalizace pohodlí**

model Puvodni\_model\_POHODLI\_Spicka

uses "mmxprs";

declarations

linka=1..10

hrana=1..13

a:array(linka,hrana)of real

q:array(hrana)of real

k:real

N:array(linka)of real

x:array (linka)of mpvar

y:mpvar

K:array(linka)of real

end-declarations

```

k:=60
K::[1,
    1,
    4,
    0,
    0,
    1,
    1,
    1,
    0,
    1]
a::[1,0,1,1,0,0,0,0,0,0,0,0,
    1,1,0,0,0,0,0,0,1,0,0,0,0,
    0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,1,0,1,
    0,1,1,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,
    0,0,0,1,1,0,0,0,0,1,0,0,0,
    0,0,0,0,0,1,0,1,1,0,0,0,0,
    0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,1,1,0,
    0,0,0,0,0,0,1,0,0,0,0,0,0,
    0,0,0,0,0,0,1,1,1,0,0,0,0,
    1,0,1,0,1,0,0,0,0,1,0,0,0]
q::[82,35,16,30,24,12,66,20,42,20,200,30,35]
N::[0.57,0.66,0.75,0.6,0.6,0.75,0.66,2,0.66,0.5]

forall(l in linka)x(l)is_integer
forall(l in linka)x(l)<=K(l)
forall(h in hrana)sum(l in linka)a(l,h)*N(l)*k*x(l)>=q(h)*y

pohodli:=y
maximize(pohodli)

writeln ("Hodnota pohodlí je ",getobjval)
writeln("Počet vozidel na lince")
forall(l in linka)writeln("linka(",l,")=",getsol(x(l)))
end-model

```

Řešením v optimalizačním softwaru Xpress-IVE bylo dosaženo hodnoty pohodlí 1.098. Tato hodnota zcela splňuje požadavky na ni kladené, jelikož neklesla pod hodnotu nula. Výslednou hodnotu lze vysvětlit tak, že na každé hraně je nabízen 1.098 násobek toho, co je průměrně požadováno.

Řešení pro přepravní sedlo je uvedeno v Příloze C. Výsledkem testování stávajícího stavu pro přepravní sedlo je, že v oběhu je 7 vozidel. Ovšem stejně tak jako u přepravní špičky jsou i zde hrany, na které není nasazeno žádné z vozidel. Jedná se o linku 4, linku 9 a linku 10. Stejně jako v předešlém případě i tady nebude brán zřetel na obsazování linek, ale bude se vycházet pouze z celkového počtu nasazených vozidel.

Jediné, kde se musí zohlednit výsledek vyřešený optimalizačním softwarem je při sestavování modelu k určení hodnoty minimální poměrné rezervy mezi nabízeným a průměrně požadovaným počtem míst na hraně. Po aplikaci do modelu byla výsledkem hodnota 1.00636. I u tohoto řešení neklesla hodnota pohodlí pod hodnotu nula. Výsledkem tedy je, že na každé hraně je nabízen 1.00636 násobek toho, co je průměrně požadováno.

### **3.3 Návrh nových linek**

Nové linky jsou navrhovány tak, aby doplnily stávající linky, jež jsou provozovány na dopravní síti. Respektive, aby některé z nich nahradily nebo posílily. Jelikož se při optimalizaci řeší nové linky spolu se stávajícími, z výsledku bude zřejmé, které linky se mohou provozovat a které je nutno vyřadit. Níže jsou popsány nové linky.

#### **Linka č.11**

Nový Jičín – Štramberk – Závěšice - Kopřivnice – Kopřivnice TATRA – Lichnov – Bordovice – Frenštát pod Radhoštěm

Linka má oběžnou dobu 150 min. Zdržení na výchozí zastávce i na konečné zastávce je 10 minut. Vzdálenost, kterou linka ujede v jednom směru je 35 km. Na této trase obslouží 39 zastávek.

### **Linka č.12**

Nový Jičín – Štramberk – Závišice - Kopřivnice – Kopřivnice TATRA – Lichnov – Tichá - Frenštát pod Radhoštěm

Oběžná doba linky č.12 činí 140 min. Během této doby ujede 68 km. Na výchozí zastávce je započítáno zdržení v čase 10 minut. Stejně dlouhý čas se zdrží i na konečné zastávce. Počet oběhů jednoho vozidla za hodinu na lince je 0,43.

### **Linka č.13**

Nový Jičín – Štramberk – Kopřivnice – Kopřivnice TATRA – Lichnov – Tichá - Frenštát pod Radhoštěm

Linka je dlouhá 28 km. Čas potřebný k ujetí této trasy je 65 min. Pro stanovení oběžné doby je třeba připočíst zdržení na výchozí i konečné zastávce, které činí 10 minut. Z toho tedy plyne, že oběžná doba je 150 min.

### **Linka č.14**

Nový Jičín – Štramberk – Kopřivnice – Kopřivnice TATRA – Lichnov – Frenštát pod Radhoštěm

Linka č.14 je páteřní linkou. Oběžná doba této linky je 160 min. Jako u všech linek je i zde zahrnuto zdržení na konečných zastávkách. Kilometrický proběh linky je 31 km. Na trase je vedeno 36 zastávek.

### **Linka č.15**

Nový Jičín – Veřovice – Bordovice – Lichnov – Frenštát pod Radhoštěm

Poslední linkou je linka, která zajišťuje spojení Nového Jičína s Frenštátem pod Radhoštěm v kratším čase s podstatně menším kilometrickým proběhem. Oběžná doba této linky je 120 min. Jako u předešlé linky i zde je doba zdržení na výchozí i konečné zastávce po dobu 10 minut.

Výpočty oběžných dob a počty oběhů jsou uvedeny v Příloze D. Přehled vypočtených hodnot je uveden v Tab.5.

Tab.5 Přehled vypočtených hodnot

	Oběžná doba [min]	Počet obrátů [hod]
Linka 11	150	0,40
Linka 12	140	0,43
Linka 13	150	0,40
Linka 14	150	0,40
Linka 15	120	0,50

Následující modely jsou opět věnovány řešení počtu nasazených vozidel na linky a maximalizaci minimální poměrné rezervy. Stejně jako v předchozích modelech jsou i sem vloženy vstupní hodnoty. Ovšem na rozdíl od testování původního modelu, je tento model rozšířen o nové linky. To znamená, že se navýšil jak počet linek, tak i počet oběhů a samozřejmě byla zvětšena i linkově-hranová incidenční matice. Rozsah této matice je 15 x 13. Tedy 15 linek obsluhující 13 hran.

### **3.3.1 Model č.3 – Minimalizace počtu vozidel**

```
model Nove_linky_SPICKA
```

```
uses "mmxprs";
```

```
declarations
```

```
linka=1..15
```

```
hrana=1..13
```

```
a:array(linka,hrana)of real
```

```
q:array(hrana)of real
```

```
k:real
```

```
N:array(linka)of real
```

```
x:array (linka)of mpvar
```

```
end-declarations
```

```

k:=60
a::[1,0,1,1,0,0,0,0,0,0,0,0,
    1,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,
    0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,1,0,1,
    0,1,1,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,
    0,0,0,1,1,0,0,0,0,1,0,0,0,
    0,0,0,0,0,1,0,1,1,0,0,0,0,
    0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,1,1,0,
    0,0,0,0,0,0,1,0,0,0,0,0,0,
    0,0,0,0,0,0,1,1,1,0,0,0,0,
    1,0,1,0,1,0,0,0,0,1,0,0,0,
    0,0,0,1,1,0,0,1,1,0,1,0,1,
    0,0,0,0,0,0,1,1,1,0,1,0,1,
    0,0,0,0,0,0,1,1,1,0,1,1,0,
    0,0,0,0,0,1,0,1,1,0,1,1,0,
    1,0,1,0,1,1,0,0,0,0,0,0,0]
q::[82,35,16,30,24,12,66,20,42,20,200,30,35]
N::[0.57,0.66,0.75,0.6,0.6,0.75,0.66,2,0.66,0.5,0.4,0.4,0.4,0.4,0.5]

forall(l in linka)x(l) is_integer
forall(h in hrana)sum(l in linka)a(l,h)*N(l)*k*x(l)>=q(h)

pocet_vozidel:=sum(l in linka)x(l)
minimize (pocet_vozidel)

writeln ("Počet vozidel ",getobjval)
writeln("Počet vozidel na lince")
forall(l in linka)writeln("linka(",l,")=",getsol(x(l)))

end-model

```

Řešením modelu v optimalizačním programu se dospělo k těmto výsledkům:

Počet vozidel 10

Počet vozidel na lince

linka(1)=1

linka(2)=1

linka(3)=4

linka(7)=1

linka(8)=1

linka(10)=1

linka(14)=1

Z výsledků vyplývá, že pro splnění požadavků cestujících musí být do sítě nasazeno 10 vozidel. Tento počet vozidel je na linkách rozdělený následovně. Na linku č.1 je zapotřebí 1 vozidlo. Na obsluhu linky č.2 je třeba taktéž 1 vozidlo. Linku č.3 je třeba obsluhovat 4 vozidly. Na linku č.7 je nasazeno pouze jedno vozidlo. Stejně je tomu i na linkách č.8, č.10 a č.14.

Model, kterým se určí počet vozidel nutných k obsluze dopravní sítě v přepravním sedle je uveden v Příloze E. Výsledkem je, že do sítě linek je třeba nasadit 6 vozidel. Na obsluhu vybraných linek je zapotřebí po jednom vozidle. Vybranými linkami jsou linka č.1, linka č.2, linka č.3, linka č.8, linka č.10 a linka č.14.

Jak již z výsledku vyplývá, došlo ke snížení počtu vozidel v přepravním sedle oproti původnímu stavu. Snížení to není nijak výrazné, ale v celkovém zhodnocení nákladů je to výrazná úspora. V přepravní špičce je počet vozidel stejný jako počet vozidel, který je nasazován v současné době.

Pro dosažení hodnoty pohodlí je třeba využít modelu č.2. Obdobně jako u předešlého zjišťování této hodnoty, je i zde zapotřebí vložit vstupní hodnoty, které jsou naprosto shodné s předešlým příkladem. Jediným rozdílem, který mezi nimi spočívá je v rozdělení počtu vozidel na linky.



### 3.3.2 Model č.2 – Maximalizace pohodlí

model Nove\_linky\_POHODLI\_Spicka

uses "mmxprs";

declarations

linka=1..15

hrana=1..13

a:array(linka,hrana)of real

q:array(hrana)of real

k:real

N:array(linka)of real

x:array (linka)of mpvar

y:mpvar

K:array(linka)of real

end-declarations

k:=60

K::[1,

1,

4,

0,

0,

0,

1,

1,

0,

1,

0,

0,

0,

1,

0]

```

a:=[1,0,1,1,0,0,0,0,0,0,0,0,
    1,1,0,0,0,0,0,0,1,0,0,0,0,
    0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,1,0,1,
    0,1,1,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,
    0,0,0,1,1,0,0,0,0,1,0,0,0,
    0,0,0,0,0,1,0,1,1,0,0,0,0,
    0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,1,1,0,
    0,0,0,0,0,0,1,0,0,0,0,0,0,
    0,0,0,0,0,0,1,1,1,0,0,0,0,
    1,0,1,0,1,0,0,0,0,1,0,0,0,
    0,0,0,1,0,1,0,1,1,0,1,0,1,
    0,0,0,0,0,0,1,1,1,0,1,0,1,
    0,0,0,0,0,0,1,1,1,0,1,1,0,
    0,0,0,1,1,1,0,1,1,0,1,1,0,
    1,0,1,0,1,1,0,0,0,0,0,0,0]
q:=[82,35,16,30,24,12,66,20,42,20,200,30,35]
N:=[0.57,0.66,0.75,0.6,0.6,0.75,0.66,2,0.66,0.5,0.4,0.4,0.4,0.4,0.5]

forall(l in linka)x(l)is_integer
forall(l in linka)x(l)<=K(l)
forall(h in hrana)sum(l in linka)a(l,h)*N(l)*k*x(l)>=q(h)*y

pohodli:=y
maximize(pohodli)
writeln ("Hodnota pohodlí je ",getobjval)
writeln("Počet vozidel na lince:")
forall(l in linka)writeln("linka(",l,")=",getsol(x(l)))

end-model

```

Řešením modelu v optimalizačním programu se dospělo k těmto výsledkům:

Hodnota pohodlí je 1.13143

Počet vozidel na lince:

linka(1)=1

linka(2)=1

linka(3)=4

linka(7)=1

linka(8)=1

linka(10)=1

linka(14)=1

Je zřejmé, že hodnota pohodlí v přepravní špičce pro nově navrhované linky je podstatně vyšší, než hodnota poskytovaná v současné době. Na každé hraně je tedy podle nového návrhu poskytovaný 1.13143 násobek toho, co je průměrně požadováno. To je o 0,03343 více oproti stávajícímu stavu.

V přepravním sedle se tato hodnota rovná 1.41545. Oproti původní hodnotě je nárůst o 0,40909. Je jasné, že s vyšší minimální rezervou je výsledek lepší a blíží se optimu. Celý model výpočtu pohodlí pro přepravní sedlo je uveden v Příloze E.

Linky, které jsou vybrány jako optimální ve výsledku návrhu nových linek, jsou linky:

**Linka č.1**

Nový Jičín – Veřovice – Frenštát pod Radhoštěm

**Linka č.2**

Nový Jičín – Ženklava – Kopřivnice

**Linka č.3**

Nový Jičín – Rybí – Štramberk – Kopřivnice

**Linka č.7**

Kopřivnice – Štramberk – Rybí – Nový Jičín

**Linka č.8**

Frenštát pod Radhoštěm – Tichá - Kozlovice

**Linka č.10**

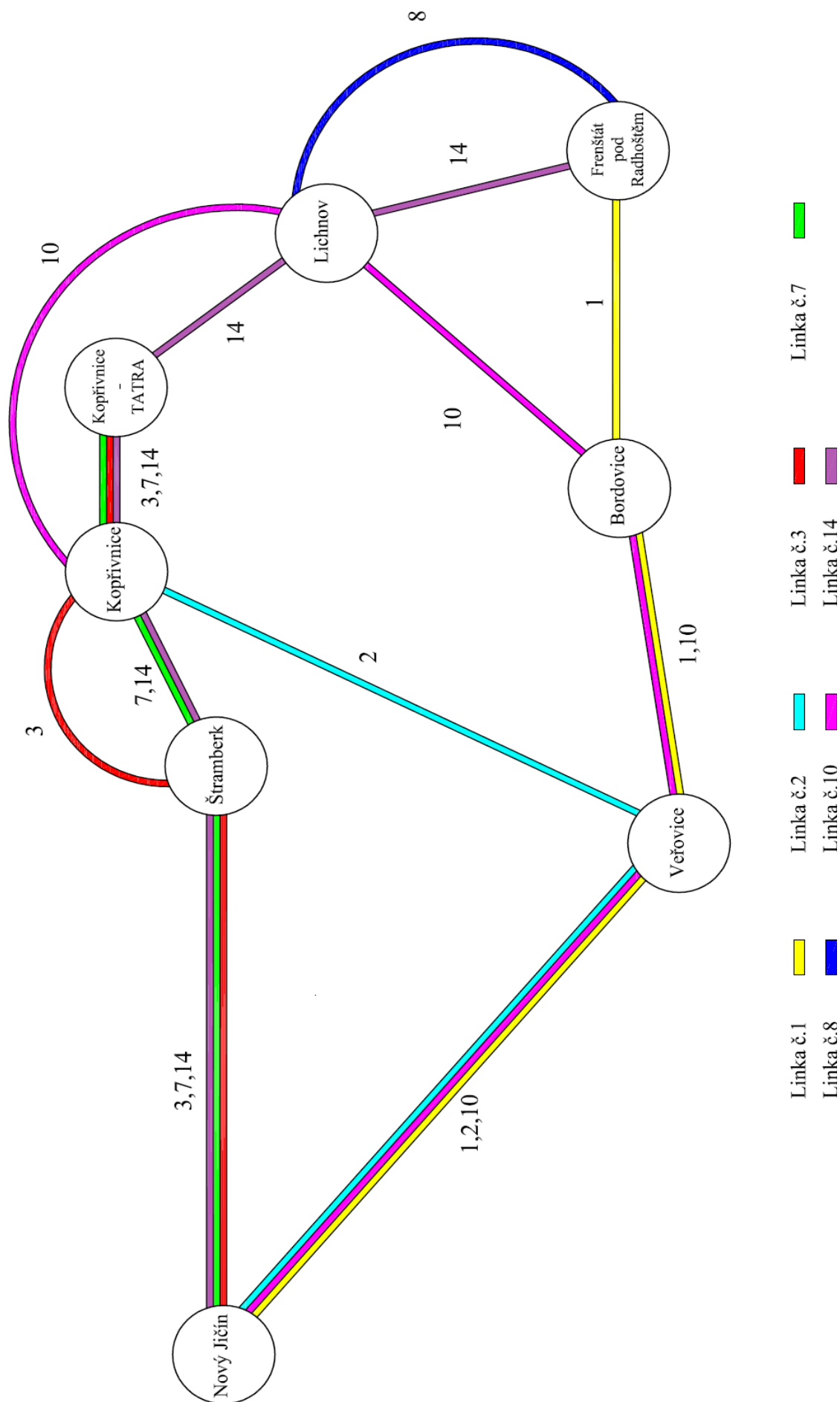
Kopřivnice – Lichnov – Veřovice – Nový Jičín

**Linka č.14**

Nový Jičín – Štramberk – Kopřivnice – Kopřivnice TATRA – Lichnov – Frenštát pod Radhoštěm

Na Obr.3 jsou vidět barevně zvýrazněny trasy linek, které jsou výsledkem optimalizace. Jak je z řešení patrné, z nově navržených linek je použita pouze jedna linka. Použitou linkou je linka č.14, která má relativně dlouhou oběžnou dobu. Výhodou této linky je, že doplňuje stávající linku č.3 a č.7, vedoucí z Nového Jičína do Kopřivnice. Jelikož na této trase jsou celkem velké přepravní intenzity (především na hraně 11 – Nový Jičín – Štramberk) je posila v lince č.14 vítána. Tato linka dále jako jediná obsluhuje hranu 8 (Kopřivnice – TATRA – Lichnov), kde na obsluhu jak v přepravní špičce, tak i v přepravním sedle stačí. Dále je využita i na hranu 6, kde obsluhuje úsek vedoucí z Lichnova do Frenštátu pod Radhoštěm.

Z výsledku plyne, že navržené řešení nebylo natolik optimální, aby stačilo k obsluze všech hran.



Obr.3 Trasy nových linek

## 4. Sestavení jízdního řádu

Jízdní řád je komplexní systém zastávek, linek a spojů v nich použitých. Pro cestující je jízdní řád umístěn na všech zastávkách, kde si zjistí jednotlivé údaje o spoji.

V dnešní době se jízdní řád musí řídit legislativními nařízeními, která upraví některé jejich aspekty. Jsou nimi například upravovány termíny, kdy mohou být jízdní řády měněny. Upravují také vlastnosti obsluhovaného území. Musí počítat se stavem vozidel a neméně důležitou měrou musí brát ohled na řidiče, kteří musí mít čas na odpočinek a také mají zákonem stanovenou maximální dobu, po kterou mohou řídit vozidlo bez bezpečnostní přestávky.

Zveřejnění jízdního řádu a provozování podle něho je jedna ze základních povinností dopravce hromadné osobní dopravy. V současnosti pro veřejnou linkou dopravu a mezinárodní linkovou osobní dopravu je tato povinnost uvedena ve Vyhlášce Ministerstva dopravy a spojů ze dne 25. října 2000 o jízdních řádech veřejné linkové osobní dopravy. Tato vyhláška podle § 41 odst. 2 k provedení §17 odst. 6 zákona 111/1994 Sb., o silniční dopravě, ve znění zákona č.150/2000 Sb. upravuje způsob zpracování a obsah jízdních řádů a jejich změn.

### 4.1 Způsob zpracování jízdního řádu a jeho změn

Jízdní řád musí být zpracován v souladu s podmínkami provozování veřejné linkové dopravy, pokud jsou stanoveny v rozhodnutí o udělení licence.

Časové údaje musí:

- vycházet ze stavebního a dopravně technického stavu pozemních komunikací a z pravidel silničního provozu a jejich místních úprav v úsecích, po kterých je linka vedena
- respektovat maximální konstrukční rychlost a jízdní vlastnosti vozidel na lince a přepravní podmínky jednotlivých spojů
- vycházet z prostorových parametrů zastávek jednotlivých spojů linky a z jejich časového využití vozidly jiných linek

Pro všechny odlišné trasy jednotlivých spojů se při zpracování jízdního řádu určí tarifní vzdálenosti, není-li dále stanoveno jinak.

Pro všechny spoje se při zpracování jízdního řádu stanoví konkrétní časový rozsah jejich provozu v průběhu platnosti jízdního řádu.

Jízdní řád, který tvoří podle § 7 odst. 1 obsah celostátního informačního systému o jízdních řádech, tuzemský dopravce zpracovává také v elektronické podobě.

Doprovce předkládá ke schválení jízdní řád ve lhůtě a způsobem, které stanoví příslušný dopravní úřad, a v případě jízdního řádu veřejné mezinárodní linkové dopravy Ministerstvo dopravy a spojů. Dopravní úřad si může vyžádat jako podklad ke schválení jízdního řádu údaje o denní době řízení a bezpečnostních přestávkách řidičů a další podklady použité pro zpracování jízdního řádu. [2]

K sestavení jízdního řádu je zapotřebí znát následující údaje:

- názvy konečných zastávek (K1 a K2)
- názvy a umístění mezilehlých zastávek
- délka linky v kilometrech
- začátek a konec denní doby provozu
- začátek a konec přepravní špičky a přepravního sedla
- linkový interval dopravy
- doba spoje na lince pro daný směr přepravy
- doba zdržení na výchozích a konečných zastávkách
- oběžná doba linky
- počet vozidel v provozu na lince

Celkový přehled stanovených údajů pro vybrané linky, které byly vyřešeny optimalizačním softwarem je uveden v Tab.6. Vypracované jízdní řády jsou uvedeny v Příloze F.

Tab.6 Přehled údajů k sestavení jízdního řádu pro vybrané linky v přepravní špičce

			Linka č.						
			1	2	3	7	8	10	14
začátek a konec denní doby provozu			5:00 – 23:00	5:00 – 23:00	5:00 – 23:00	5:00 – 23:00	5:00 – 23:00	5:00 – 23:00	5:00 – 23:00
začátek a konec přepravní špičky a přepravního sedla	přepravní špička	ranní	5:00 – 8:30						
		odpolední	13:30 – 18:00						
	přepravní sedlo	ranní	8:30 – 13:30						
		odpolední	18:00 – 23:00						
linkový interval dopravy	špička		105 min	90 min	20 min	90 min	30 min	120 min	150 min
	sedlo		105 min	90 min	80 min	0 min	30 min	120 min	150 min
doba spoje na lince pro daný směr přepravy			45 min	35 min	35 min	40 min	10 min	55 min	70 min
doba zdržení na výchozí a konečné zastávce	výchozí zastávka K1		10 min	10 min	5 min	5 min	5 min	5 min	5 min
	konečná zastávka K2		5 min	10 min	5 min	5 min	5 min	5 min	5 min
oběžná doba linky			105 min	90 min	80 min	90 min	30 min	120 min	150 min
počet vozidel v provozu na lince	přepravní špička		1	1	4	1	1	1	1
	přepravní sedlo		1	1	1	0	1	1	1



## 4.2 Linkový interval dopravy

K určení linkového intervalu dopravy je potřeba oběžná doba a počet vozidel přidělený na linku. Oběžná doba se stanovila každé lince již na začátku této práce. Počet vozidel přidělených na jednotlivé linky jsou výsledkem řešení v Xpress-IVE. Veškeré údaje pro výpočet linkového intervalu dopravy jsou známy, proto je možné přistoupit k jeho výpočtu. Pro stanovení intervalu se vychází ze vztahu 13.

$$i = \frac{o_1}{\text{pocet vozidel}} \quad [\text{min}] \quad (13)$$

kde

$i$  ... linkový interval dopravy [min]

$o_1$  ... oběžná doba [min]

### Výpočet linkového intervalu dopravy

#### Přepravní špička

Linka č.1

$$i = \frac{o_1}{\text{pocet vozidel}}$$
$$i = \frac{105}{1} = \underline{\underline{105 \text{ min}}}$$

Linka č.3

$$i = \frac{o_1}{\text{pocet vozidel}}$$
$$i = \frac{80}{4} = \underline{\underline{20 \text{ min}}}$$

Linka č.2

$$i = \frac{o_1}{\text{pocet vozidel}}$$
$$i = \frac{90}{1} = \underline{\underline{90 \text{ min}}}$$

Linka č.7

$$i = \frac{o_1}{\text{pocet vozidel}}$$
$$i = \frac{90}{1} = \underline{\underline{90 \text{ min}}}$$

Linka č.8

$$i = \frac{o_1}{\text{pocet vozidel}}$$

$$i = \frac{30}{1} = \underline{\underline{30 \text{ min}}}$$

Linka č.14

$$i = \frac{o_1}{\text{pocet vozidel}}$$

$$i = \frac{150}{1} = \underline{\underline{150 \text{ min}}}$$

Linka č.10

$$i = \frac{o_1}{\text{pocet vozidel}}$$

$$i = \frac{120}{1} = \underline{\underline{120 \text{ min}}}$$

### **Přepavní sedlo**

Linka č.1

$$i = \frac{o_1}{\text{pocet vozidel}}$$

$$i = \frac{105}{1} = \underline{\underline{105 \text{ min}}}$$

Linka č.8

$$i = \frac{o_1}{\text{pocet vozidel}}$$

$$i = \frac{30}{1} = \underline{\underline{30 \text{ min}}}$$

Linka č.2

$$i = \frac{o_1}{\text{pocet vozidel}}$$

$$i = \frac{90}{1} = \underline{\underline{90 \text{ min}}}$$

Linka č.10

$$i = \frac{o_1}{\text{pocet vozidel}}$$

$$i = \frac{120}{1} = \underline{\underline{120 \text{ min}}}$$

Linka č.3

$$i = \frac{o_1}{\text{pocet vozidel}}$$

$$i = \frac{80}{1} = \underline{\underline{80 \text{ min}}}$$

Linka č.14

$$i = \frac{o_1}{\text{pocet vozidel}}$$

$$i = \frac{150}{1} = \underline{\underline{150 \text{ min}}}$$

## Jízdní řád

Tab.7 Jízdní řád pro linku č.1

Tč			Spoj 1	Spoj 3	Spoj 5	Spoj 7	Spoj 9	Spoj 11	Spoj 13	Spoj 15	Spoj 17	Spoj 19	Spoj 21	km
			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
1	Nový Jičín,,aut.nádr.;MHD	odjezd	5:30	7:15	9:00	10:45	12:30	14:15	16:00	17:45	19:30	21:15	23:00	0
2	Nový Jičín,,Bezručova;MHD		5:32	7:17	9:02	10:47	12:32	14:17	16:02	17:47	19:32	21:17	23:02	1
3	Nový Jičín,Žilina,střední zem.škola		5:34	7:19	9:04	10:49	12:34	14:19	16:04	17:49	19:34	21:19	23:04	2
4	Nový Jičín,Žilina,kult.dům		5:36	7:21	9:06	10:51	12:36	14:21	16:06	17:51	19:36	21:21	23:06	3
5	Nový Jičín,Žilina,u partyzána		5:37	7:22	9:07	10:52	12:37	14:22	16:07	17:52	19:37	21:22	23:07	4
6	Nový Jičín,Žilina,pož.zbroj.		5:38	7:23	9:08	10:53	12:38	14:23	16:08	17:53	19:38	21:23	23:08	4
7	Životice u N.Jičína,,u Jana		5:39	7:24	9:09	10:54	12:39	14:24	16:09	17:54	19:39	21:24	23:09	5
8	Životice u N.Jičína,,obecní úřad		5:41	7:26	9:11	10:56	12:41	14:26	16:11	17:56	19:41	21:26	23:11	6
9	Životice u N.Jičína,,kostel		5:43	7:28	9:13	10:58	12:43	14:28	16:13	17:58	19:43	21:28	23:13	7
10	Mořkov,,rozc.Frenštát p.Radh.		5:47	7:32	9:17	11:02	12:47	14:32	16:17	18:02	19:47	21:32	23:17	8
11	Mořkov,,pomník rudoarmějce;x		5:49	7:34	9:19	11:04	12:49	14:34	16:19	18:04	19:49	21:34	23:19	9
12	Veřovice,,rozc.směr Mořkov		5:52	7:37	9:22	11:07	12:52	14:37	16:22	18:07	19:52	21:37	23:22	10
13	Veřovice,,SITEX		5:54	7:39	9:24	11:09	12:54	14:39	16:24	18:09	19:54	21:39	23:24	11
14	Veřovice,,škola		5:57	7:42	9:27	11:12	12:57	14:42	16:27	18:12	19:57	21:42	23:27	12
15	Veřovice,,nákup.stř.		5:59	7:44	9:29	11:14	12:59	14:44	16:29	18:14	19:59	21:44	23:29	13
16	Veřovice,,žel.st.		6:01	7:46	9:31	11:16	13:01	14:46	16:31	18:16	20:01	21:46	23:31	13
17	Bordovice,,Růže		6:03	7:48	9:33	11:18	13:03	14:48	16:33	18:18	20:03	21:48	23:33	15
18	Bordovice,,rozc.		6:04	7:49	9:34	11:19	13:04	14:49	16:34	18:19	20:04	21:49	23:34	17
19	Frenštát p.Radh.,,Dolní		6:06	7:51	9:36	11:21	13:06	14:51	16:36	18:21	20:06	21:51	23:36	20
20	Frenštát p.Radh.,,u škol		6:10	7:55	9:40	11:25	13:10	14:55	16:40	18:25	20:10	21:55	23:40	21
21	Frenštát p.Radh.,,žel.st.	příjezd	6:15	8:00	9:45	11:30	13:15	15:00	16:45	18:30	20:15	22:00	23:45	22

## Jízdní řád

Tab.8 Jízdní řád pro linku č.1

Tč			Spoj 2	Spoj 4	Spoj 6	Spoj 8	Spoj 10	Spoj 12	Spoj 14	Spoj 16	Spoj 18	Spoj 20	Km
			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
21	Frenštát p.Radh.,žel.st.	odjezd	6:25	8:10	9:55	11:40	13:25	15:10	16:55	18:40	20:25	22:10	0
20	Frenštát p.Radh.,u škol		6:30	8:15	10:00	11:45	13:30	15:15	17:00	18:45	20:30	22:15	1
19	Frenštát p.Radh.,Dolní		6:34	8:19	10:04	11:49	13:34	15:19	17:04	18:49	20:34	22:19	2
18	Bordovice,,rozc.		6:36	8:21	10:06	11:51	13:36	15:21	17:06	18:51	20:36	22:21	5
17	Bordovice,,Růže		6:37	8:22	10:07	11:52	13:37	15:22	17:07	18:52	20:37	22:22	7
16	Veřovice,,žel.st.		6:39	8:24	10:09	11:54	13:39	15:24	17:09	18:54	20:39	22:24	9
15	Veřovice,,nákup.stř.		6:41	8:26	10:11	11:56	13:41	15:26	17:11	18:56	20:41	22:26	9
14	Veřovice,,škola		6:44	8:29	10:14	11:59	13:44	15:29	17:14	18:59	20:44	22:29	10
13	Veřovice,,SITEX		6:46	8:31	10:16	12:01	13:46	15:31	17:16	19:01	20:46	22:31	11
12	Veřovice,,rozc.směr Mořkov		6:49	8:34	10:19	12:04	13:49	15:34	17:19	19:04	20:49	22:34	12
11	Mořkov,,pomník rudoarmějce;x		6:51	8:36	10:21	12:06	13:51	15:36	17:21	19:06	20:51	22:36	13
10	Mořkov,,rozc.Frenštát p.Radh.		6:55	8:40	10:25	12:10	13:55	15:40	17:25	19:10	20:55	22:40	14
9	Životice u N.Jičína,,kostel		6:57	8:42	10:27	12:12	13:57	15:42	17:27	19:12	20:57	22:42	15
8	Životice u N.Jičína,,obecní úřad		6:59	8:44	10:29	12:14	13:59	15:44	17:29	19:14	20:59	22:44	16
7	Životice u N.Jičína,,u Jana		7:00	8:45	10:30	12:15	14:00	15:45	17:30	19:15	21:00	22:45	17
6	Nový Jičín,Žilina,pož.zbroj.		7:01	8:46	10:31	12:16	14:01	15:46	17:31	19:16	21:01	22:46	18
5	Nový Jičín,Žilina,u partyzána		7:02	8:47	10:32	12:17	14:02	15:47	17:32	19:17	21:02	22:47	18
4	Nový Jičín,Žilina,kult.dům		7:04	8:49	10:34	12:19	14:04	15:49	17:34	19:19	21:04	22:49	19
3	Nový Jičín,Žilina,střední zem.škola		7:06	8:51	10:36	12:21	14:06	15:51	17:36	19:21	21:06	22:51	20
2	Nový Jičín,,Bezručova;MHD		7:08	8:53	10:38	12:23	14:08	15:53	17:38	19:23	21:08	22:53	21
1	Nový Jičín,,aut.nádr.;MHD	příjezd	7:10	8:55	10:40	12:25	14:10	15:55	17:40	19:25	21:10	22:55	22

## 5. Vyhodnocení návrhu

Autobusová doprava má na Novojičínsku nezastupitelné místo v rychlé regionální a aglomerační dopravě. Jako páteřní prvek na této oblasti slouží linky, které obsluhují vytížená města, jimiž jsou Nový Jičín – Kopřivnice – Frenštát pod Radhoštěm. V těchto městech jsou zajištěny pracovní místa, ale také vzdělávací instituty a zdravotní péče. Proto je do těchto míst přepravováno z okolních vesnic a měst více a více cestujících. Nejvytíženější spoje ve špičkách pracovního dne přepraví kolem 200 – 500 cestujících / spoj. Na základních principech páteřní a obslužné dopravy je nutné budovat celý dopravní systém v této oblasti.

Základním prvkem páteřního dopravního systému musí být vysoká rychlost přepravy, vysoká četnost spojení v pravidelných intervalech a vzájemná provázanost jednotlivých páteřních i doplňkových linek, které slouží k dobré dostupnosti do všech tří měst. Pro tento typ obsluhy je autobusová doprava obzvláště vhodná, neboť má v řešené oblasti podstatně větší potenciál, než-li doprava po železnici. Ovšem je třeba nabídnout cestujícím takové podmínky, aby nabízenou dopravu využívali podstatně více, než osobní automobily.

Cílem této práce bylo navrhnout řešení tak, aby se snížil počet provozovaných vozidel. Taktéž se mělo docílit toho, že se sníží počet linek v této oblasti. Jelikož nebyly dodány přesné údaje o provozování vozidel v současné době, byl za pomoci optimalizačního softwaru Xpress-IVE tento počet zjištěn. Ačkoli výsledek obsazování linek vozidly nebyl jednoznačný, pro další řešení byl dostačující. Výsledkem tedy bylo, že v přepravní špičce je na linky nasazeno 10 vozidel a v přepravní sedlo obsluhuje linky pouze 7 vozidel. Tento výsledek je v praxi běžný, jelikož v přepravních sedlech není přepravováno tolik cestujících, aby bylo zapotřebí mít v provozu všechna vozidla.

Nově navrženými linkami byly linky, které propojovaly všechny centrální města. Ovšem po zadání do lineárního modelu se dospělo k výsledku, že pouze jedna linka je vhodná pro provozování v této oblasti. Zbylé linky nevyhovují, jelikož mají dlouhou oběžnou dobu a tudíž by nesplňovaly kritérium rychlé přepravy. Výsledkem tedy je, že na linky je v přepravní špičce nasazeno taktéž 10 vozidel a v přepravním sedle pouze 6 vozidel. Z toho plyne úspora jednoho vozidla oproti stávající dopravní síti. Pokud se porovnají i poměrné rezervy mezi nabízeným a průměrně požadovaným počtem míst je zřejmé, že výsledek se zahrnutím nově navržených linek je podstatně lepší jak u stávajícího stavu. Tudíž je patrné, že celkový výsledek je lepší.

## **5.1 Ekonomické zhodnocení**

### **Obecné vyjádření**

Při rozhodování o výši nákladů souvisejících s provozováním příměstské hromadné dopravy se musí přihlížet k mnoha faktorům. Pakliže se posuzuje, které z navržených faktorů je pro provoz příměstské hromadné dopravy nejdůležitější, stanoví se kritéria, podle kterých je posuzována výhodnost jednotlivých řešení. Je zřejmé, že pro cestujícího jsou rozhodující jiná kritéria než jaká preferuje dopravce. Jinými slovy, cestující posuzuje např. cenu jízdného, kdežto dopravce se přiklání na stranu nákladů, které jsou spojené s provozem vozidel, náklady na řidiče, apod. Dalším důležitým kritériem, které posuzuje cestující je doba za přemístění a pohodlí s tím spojené. Kritérium z pohledu dopravce jsou náklady na zajištění provozu.

Finanční stránka z pohledu cestujících i z pohledu dopravce je velmi často ve vzájemném rozporu a je třeba mezi nimi hledat kompromis, který bude vyhovovat oběma stranám.

Obecně platí, že pro ekonomické posouzení navrhovaných změn je rozhodující posouzení celkových nákladů na provoz příměstské hromadné dopravy před a po realizaci navrhovaných změn. Ideálním případem je samozřejmě stav, kdy se realizací navržených změn dosáhne snížení celkových nákladů na provoz a současně i zvýšení tržeb.[3]

Do celkových nákladů se zahrnují jak náklady nepřímé (investiční), tak náklady přímé, které souvisí s dopravními výkony. Pakliže se výrazně nemění nepřímé náklady (např. investice), jsou pro ekonomickou analýzu vhodné přímé náklady. Ovšem výše přímých nákladů má vliv i na výši nepřímých nákladů, hlavně v situacích, kdy se od těchto nákladů odvíjí např. počet administrativních zaměstnanců, kteří jsou určováni v závislosti na počtech řidičů, dále třeba počet opravárenských linek dimenzovaných v závislosti na počtu provozovaných vozidel atd.

Cílem je, aby všechny náklady byly snižovány s ohledem na kvalitativní atributy přepravy, kterými jsou doba a rychlost přemístění, bezpečnost dopravy, přepravní příležitost, spolehlivost a přesnost, pohodlí přemístění, informovanost a vliv na životní prostředí.

Jelikož společnost provozující autobusovou dopravu na území Novojičínka neposkytla ekonomické údaje, které by bylo možné zahrnout v ekonomickém zhodnocení, nezbyvá než výsledky provozu zhodnotit pouze pomocí kilometrického proběhu za období celého roku 2010.

Pro přehlednost jsou uvedeny Tab.9, Tab.10, ve kterých jsou znázorněny počty kilometrů ujetých vozidly za pracovní dny, pracovní dny mimo měsíce červenec – srpen a celkový roční kilometrický proběh ujetý všemi vozidly.

Tab.9 Přehled ujetých kilometrů – stávající stav

Linka	Počet km			
	TAM		ZPĚT	
	X	X23	X	X23
č.1	346	64	368	22
č.2	152	13	94	0
č.3	430	47	488	56
č.4	79	20	46	0
č.5	216	18	184	19
č.6	75	14	99	16
č.7	93	0	135	11
č.8	49	0	49	0
č.9	96	32	111	16
č.10	58	0	25	25
<b>Součet</b>	<b>1 594</b>	<b>208</b>	<b>1 599</b>	<b>165</b>
<b>Za rok</b>	<b>403 282</b>	<b>43 888</b>	<b>404 547</b>	<b>34 815</b>
<b>Celkový součet</b>	<b>886 532</b>			

Z tabulky je patrné, že v pracovních dnech (označené X) je ve směru tam najeto 1 594 km denně a ve směru zpět je to 1 599 km za den. Pakliže se tyto hodnoty sečtou a vynásobí hodnotou 253, která značí počet pracovních dnů v roce 2010, získá se výsledek 807 829 km za rok.

Pro získání kompletního výsledku je nutno zahrnout i linky jezdící mimo měsíce červenec a srpen. Těmto linkám se říká „školní linky“, které v převážné většině přepravují děti a mládež směřující do škol. Jak je vidět z tabulky, těchto linek je relativně málo od čehož se odvíjí i kilometrický proběh. Sečtou-li se hodnoty v pracovních dnech mimo prázdniny (označené X23), jde o 373 km za den. Vynásobí-li se hodnotu 211, která vyjadřuje počet pracovních dnů mimo pracovní dny v měsíci červenci a srpnu, získá se hodnota 78 703 km/rok. Když se tyto dvě celkové hodnoty sečtou, dosáhne se celkového

počtu ujetých kilometrů danými linkami za rok. V tomto případě se jedná o hodnotu 886 532 km/rok.

Finanční prostředky spojené s provozováním stávajících linek je možno vyjádřit, pokud se celková hodnota ujetých kilometrů za rok vynásobí 20 Kč. Z peněžní částky 20 Kč je bráno 10 Kč/km na spotřebovanou naftu a dalších 10 Kč/km na mzdové náklady. Nejsou zde uvedeny další náklady, jelikož by bylo naprosto nesmyslné uvádět hodnoty, které nejsou podloženy dopravcem provozující hromadnou dopravu.

Částka, která je zapotřebí na provoz linek je 17 730 640 Kč.

Pro zjištění úspory je nutno uvést i kilometrický proběh na nově navržené dopravní síti. Kompletní přehled je uveden v Příloze G. Pro přehlednost jsou hodnoty uvedeny v následující Tab.10

Tab.10 Přehled ujetých kilometrů - nově navržené linky

Linka	Počet km			
	TAM		ZPĚT	
	X	X23	X	X23
č.1	242		220	
č.2	209		209	
č.3	450	300	475	275
č.7	108	18	108	18
č.8	40		40	
č.10	232		232	
č.14	217		186	
<b>Součet</b>	<b>1 498</b>	<b>318</b>	<b>1 470</b>	<b>293</b>
<b>Za rok</b>	<b>378 994</b>	<b>67 098</b>	<b>371 910</b>	<b>61 823</b>
<b>Celkový součet</b>	<b>879 825</b>			

Naprosto stejně jako u předchozí tabulky i zde jsou rozděleny ujeté kilometry na:

- ujeté kilometry v pracovních dnech (označené X)
- ujeté kilometry v pracovních dnech mimo měsíce červenec a srpen (označené X23)



V pracovních dnech nově navržené linky ujedou ve směru tam 1 498 km/den. Ve zpátečním směru je 1 470 km/den. Pakliže se tyto dvě hodnoty sečtou a vynásobí počtem pracovních dní v roce 2010, získá se výsledek 750 904 km/rok. Již zde si lze všimnout značné úspory ujetých kilometrů, které činí 56 925 km/rok. K celkovému zhodnocení je třeba připočítat i kilometrické proběhy v pracovních dnech mimo školní prázdniny. I zde jsou navrženy tzv. „školní autobusy“, jelikož velký počet přepravených cestujících tvoří právě mládež směřující za vzděláním.

Kilometrický proběh činí 611 km/den. Když se hodnota vynásobí počtem pracovních dní za rok, tedy 211 dny, dospěje se k výsledku 128 921 km/rok. Jelikož už jsou známy obě hodnoty pro stanovení celkového kilometrického proběhu za rok, stačí tyto hodnoty pouze sečíst. Po sečtení se dospěje k celkovému kilometrickému proběhu, který činí 879 825 km/rok. Tudíž je na první pohled zřejmé, že se dospělo k úspoře 6 707 km/rok. Po finanční stránce se jedná o úsporu v podobě 134 140 Kč/rok.

Nicméně je možné úsporu jak v počtu kilometrů, tak i po finanční stránce ještě navýšit a to jednoduchým způsobem. U sestavených jízdních řádů je zjevné, že linka č.8 obsluhuje pouze jednu hranu v zadané dopravní síti. Tato hrana měří pouze 4 km. Tudíž by se tato linka dala zrušit a přiřadit například k jiné lince, která touto hranou projíždí, ovšem směřuje jinam, než je námi vytyčená oblast. Tím pádem by se dospělo k tomu, že celkový počet kilometrů najetých všemi vozidly za rok by byl 859 585 km/rok. To znamená, že se navýší úspora o dalších 20 240 km/rok, vyjádřených finančně 404 800 Kč/rok. Tedy celková úspora by činila 26 947 km/rok a 538 940 Kč/rok. Samozřejmě by došlo i ke snížení počtu vozidel, což by v případě této hrany neměl být žádný problém. Jelikož by se mohlo uspořené vozidlo nasadit na linku, která obslouží právě tuto hranu a posílí případně jinou linku. Ovšem toto je jen spekulace, která není nijak podložena.

## 6. Závěr

Celá práce byla směřována na řešení příměstské hromadné dopravy ve vybrané oblasti. Touto oblastí bylo Novojičínsko. Přesněji tři stěžejní města, vyskytující se v této oblasti. Jsou jimi Nový Jičín, Kopřivnice a Frenštát pod Radhoštěm. Cíl práce spočíval v návrhu nových příměstských linek tak, aby se snížil počet nasazených vozidel v oblasti a tím se i snížily náklady s tím spojené.

Prvním krokem diplomové práce bylo zjistit, kolik linek tvoří stávající dopravní síť. Jakmile byl zjištěn tento údaj, bylo možné si jednotlivé linky zakreslit. Dále bylo nutné získat vstupní údaje, kterými byla intenzita cestujících využívající současnou příměstskou dopravu. Bylo nutné si stávající dopravní síť rozdělit na jednotlivé úseky.

První část experimentu je věnována lineárním modelům řešených v optimalizačním softwaru Xpress-IVE. Těmito modely se zjišťoval počet vozidel na stávající dopravní síti, jelikož nebyly k dispozici přesné údaje od dopravce. Jakmile byl znám počet nasazených vozidel v oblasti, zbývalo jen zjistit hodnotu minimální poměrné rezervy mezi nabízeným a průměrně požadovaným počtem míst. Poměrná rezerva reprezentuje tzv. pohodlí. Výsledek pohodlí je násobek toho co je na každé hraně průměrně požadováno. Druhá část je věnována návrhu nových linek příměstské hromadné dopravy. I v této části bylo zapotřebí zjistit počet vozidel a minimální poměrnou rezervu. Z hodnot získaných optimalizací bylo dospěno k výsledku, že na stávající dopravní síti jsou nasazené linky, které splňují požadavky obsluhy jednotlivých hran. Z pěti nově navržených linek byla vybrána pouze jedna, které vyhovovala optimalizaci. Výsledkem celého experimentu je, snížení počtu linek z původních deseti na sedm, dále snížení vozidel v přepravním sedle a to o jedno vozidlo. V přepravní špičce se počet vozidel nezměnil. Z toho tedy plyne, že bylo vyhledáno optimum na dopravní síti vybrané oblasti.

Další část diplomové práce se zabývala sestavením jízdního řádu. Na základě zjištěných údajů, které vyplynuly z lineárních modelů byly vypočítány intervaly pro vybrané linky. Na základě intervalů, doby linky, oběžné doby linky a počtu vozidel byl sestaven jízdní řád pro každou linku zvlášť. Jízdní řády byly upravovány tak, aby všechny spoje alespoň z části odpovídaly požadavkům cestujících. Tedy, aby bylo zajištěno, že prvními spoji se mohou cestující dopravit do zaměstnání bez větších časových ztrát. Při navrhování posledních spojů se přihlíželo na konce pracovních směn ve firmách sídlících v městech Nový Jičín, Kopřivnice a Frenštát pod Radhoštěm. U všech spojů se vyžaduje dodržování bezpečnostních přestávek, jež jsou zákonem dané.

Poslední kapitola diplomové práce byla zaměřena na vyhodnocení návrhu. V této části je zahrnuto i ekonomické zhodnocení, které je pouze na úrovni srovnání kilometrického proběhu, jelikož nebyly dopravcem poskytnuty další ekonomické údaje. Tudíž bylo zcela nevhodné dělat ekonomické vyhodnocení na jiné než výsledky podložené úrovni. Celkovým zhodnocením bylo, že se uspoří 6 707 km/rok, tedy 134 140 Kč/rok. Ovšem byla zde i naznačena další úspora, které vysloveně záleží na podmínkách provozování sítě linek v celém kraji.

# CITACE

## Literatura

- [1] SUROVEC P., *Provoz a ekonomika silniční dopravy I.* 1.vyd. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2001, ISBN 80-7078-735-X
- [2] Vyhláška Ministerstva dopravy č.388/2000 Sb. o jízdních řádech veřejné linkové osobní dopravy
- [3] Blatoň M. Optimalizace vedení linek MHD: Disertační práce – doktorská. Ostrava. VŠB –Technická univerzita Ostrava, 2011. s. 105

## Použitá literatura

- 1. Gross, I. Kvantitativní metody v manažerském rozhodování. Praha: GRADA, Praha. 2003. ISBN 80-247-0421-8
- 2. Černý, J., Kulhánek, P. Základy matematické teorie dopravy. Bratislava: VEDA-Vydavateľstvo slovenskej akademie vied, Bratislava. ISBN 80-224-0099-8

## SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha A:** Grafické znázornění sítě linek pro přepravní sedlo
- Příloha B:** Určení oběžné doby a výpočet počtu obrátů vozidel za hodinu
- Příloha C:** Zápis matematického modelu v Xpress-IVE – současný stav
- Příloha D:** Určení oběžné doby a výpočet počtu obrátů vozidel za hodinu
- Příloha E:** Zápis matematického modelu v Xpress-IVE – nově navržené linky
- Příloha F:** Jízdní řády